



МИР электроники

Печатные платы
Справочник.
В 2-х книгах

Книга I

Под редакцией К.Ф. Кумбза

Перевод с английского
под редакцией д.т.н.,
проф. А.М. Медведева

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2018

УДК 621.3.049.75

ББК 32.844

П 31

П 31 Печатные платы: Справочник / Под редакцией К.Ф. Кумбза

В 2-х книгах. Книга 1

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 1016 с.

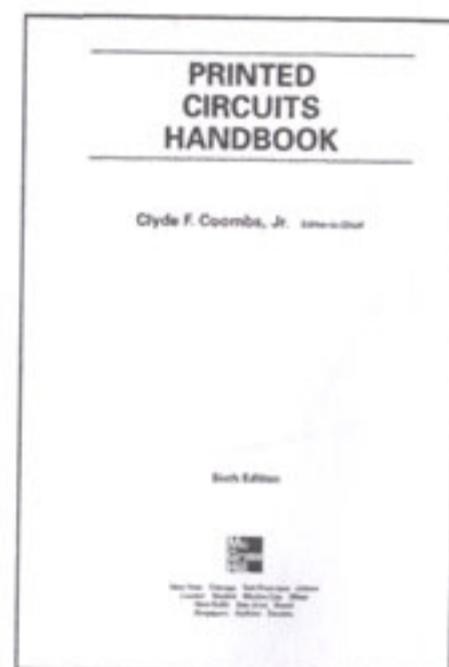
ISBN 978-5-94836-258-8

В издании рассматриваются все процессы создания и применения печатных плат: проектирование и выбор базовых материалов, изготовление, обеспечение качества и оценки надежности печатных плат и печатных узлов, монтаж плат, включая особенности бессвинцовых технологий пайки, а также методы и средства испытаний применительно к специальным требованиям. Шестое издание дополнено информацией по ценообразованию, количественной оценке технологичности плат, управлению производством и решению экологических проблем.

Справочник рассчитан на широкий круг специалистов-технологов, конструкторов, схемотехников и специалистов по надежности, поскольку печатные платы являются фундаментом проектирования и производства изделий электроники. Данная книга может служить учебным пособием для студентов и аспирантов вузов соответствующих специальностей.

УДК 621.3.049.75

ББК 32.844



Copyright © 2008 by The McGraw-Hill Companies. All rights reserved.

© 2011, ЗАО «РИЦ «Техносфера», перевод, оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-258-8

ISBN 007-1467343 (англ.)

Содержание

Введение	11
ЧАСТЬ 1. ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВИНЦА	14
Глава 1. Законодательство и его влияние на печатные платы	14
1.1. Обзор законодательства	14
1.2. Отходы электрического и электронного оборудования (WEEE)	14
1.3. Ограничение использования опасных веществ (RoHS)	15
1.4. Воздействие законодательства в области RoHS на промышленное изготовление печатных плат	19
1.5. Перспективы бессвинцового монтажа	24
Литература	26
ЧАСТЬ 2. ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	27
Глава 2. Монтаж электронных схем в корпусе и межсоединения высокой плотности	27
2.1. Введение	27
2.2. Оценка революционных межсоединений (межсоединений высокой плотности)	27
2.3. Иерархия межсоединений	31
2.4. Факторы, влияющие на выбор межсоединений	32
2.5. Интегральные схемы и корпуса	36
2.6. Оценки плотности	41
2.7. Методы увеличения плотности печатных плат	45
Литература	51
Глава 3. Технология корпусирования полупроводников	52
3.1. Введение	52
3.2. Однокристалльный модуль	56
3.3. Многокристалльные модули	67
3.4. Оптические межсоединения	73
3.5. Обзор корпусирования высокой плотности с улучшенными техническими характеристиками	75
3.6. Информация по перспективному плану развития	75
Литература	75
Глава 4. Пакетирование современных компонентов	77
4.1. Введение	77
4.2. Без применения свинца	79
4.3. Система на одном кристалле (SOC) и система на одном корпусе (SOP)	80
4.4. Многокристалльные модули	83
4.5. Многокристалльные корпуса	84
4.6. Поддерживающие технологии	89

4.7. Благодарности	101
Литература	101
Глава 5. Типы печатных плат	104
5.1. Введение	104
5.2. Классификация печатных плат	104
5.3. Подложки из органических и неорганических веществ	106
5.4. Графическая плата и плата с дискретными межсоединениями	106
5.5. Жесткие и гибкие платы	108
5.6. Платы, изготавливаемые графическим способом	109
5.7. Прессованные устройства межсоединений	114
5.8. Технологии металлизированных сквозных отверстий (PTH)	114
5.9. Краткие выводы	119
Литература	119
ЧАСТЬ 3. МАТЕРИАЛЫ	120
Глава 6. Введение в базовые материалы	120
6.1. Введение	120
6.2. Марки и технические характеристики	120
6.3. Свойства, используемые для классификации базовых материалов	128
6.4. Типы материалов марки FR-4	133
6.5. Идентификационная схема слоистых плат	135
6.6. Идентификационная схема препрега	139
6.7. Процессы изготовления слоистых плат и препрегов	140
Литература	146
Глава 7. Компоненты базовых материалов	147
7.1. Введение	147
7.2. Системы с эпоксидной смолой	147
7.3. Другие полимерные системы	152
7.4. Добавки	154
7.5. Армирование	160
7.6. Проводящие материалы	168
Литература	176
Глава 8. Свойства базовых материалов	177
8.1. Введение	177
8.2. Тепловые, физические и механические свойства	177
8.3. Электрические свойства	192
Литература	196
Глава 9. Базовые материалы. Рабочие характеристики	197
9.1. Введение	197
9.2. Методы увеличения плотности монтажа схем	198
9.3. Медная фольга	198
9.4. Конструкции композиционных диэлектриков	204
9.5. Пропитанная стеклоткань (препрег) и результирующие величины в расчете на слой	207

9.6. Стабильность размеров	208
9.7. Материалы для плат с высокой плотностью межсоединений (HDI)	212
9.8. Образование проводящих анодных нитей	214
9.9. Электрические характеристики	224
9.10. Электрические характеристики материалов с низкими значениями D_v/D_f совместимыми с бессвинцовыми технологиями пайки	237
Литература	238
Глава 10. Влияние бессвинцовой пайки на базовые материалы	239
10.1. Введение	239
10.2. Основы Директивы RoHS	239
10.3. Проблемы совместимости базовых материалов	240
10.4. Влияние бессвинцовой пайки на компоненты базовых материалов	243
10.5. Наиболее важные свойства базового материала	243
10.6. Связь надежности печатных плат с выбором материала	259
10.7. Выводы	264
Литература	265
Глава 11. Выбор базовых материалов применительно к бессвинцовой технологии пайки	266
11.1. Введение	266
11.2. Взаимосвязь изготовления печатных плат и сборки печатных узлов [1]	266
11.3. Правильный выбор базового материала для специального использования [2, 3]	273
11.4. Пример применения механизма выбора	281
11.5. Пиковые температуры бессвинцовой пайки	282
11.6. Бессвинцовые технологии и требования стандарта IPC-4101	283
11.7. Дополнительные варианты выбора базовых материалов для бессвинцовых технологий	284
11.8. Выводы	285
Литература	286
Глава 12. Свойства базовых материалов и их испытания	287
12.1. Введение	287
12.2. Промышленные стандарты	289
12.3. Стратегия испытаний диэлектриков	290
12.4. Начальные испытания	292
12.5. Полная оценка материала	298
12.6. Технологичность производства	316
ЧАСТЬ 4. РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ	318
Глава 13. Физические характеристики печатных плат	318
13.1. Классы конструкций печатных плат	318
13.2. Типы печатных плат или компоновка электронных схем	325
13.3. Методы монтажа компонентов	331

13.4. Типы корпусов компонентов	333
13.5. Выбор материалов	338
13.6. Методы изготовления	343
13.7. Выбор типа компоновки и производителя	345
Глава 14. Процесс проектирования печатных плат	348
14.1. Цель проектирования печатных плат	348
14.2. Процесс проектирования	348
14.3. Средства проектирования	355
14.4. Выбор комплекта средств проектирования	362
14.5. Согласование САЕ-, CAD- и САМ-инструментов друг с другом	363
14.6. Входные данные для процесса проектирования	364
Глава 15. Электрические и механические параметры конструкции	366
15.1. Требования к проектированию печатных плат	366
15.2. Введение в устойчивость электрического сигнала	366
15.3. Введение в электромагнитную совместимость	369
15.4. Расчет помех	369
15.5. Проектирование с учетом устойчивости сигнала и электромагнитной совместимости	370
15.6. Требования к механической конструкции	376
Литература	386
Глава 16. Токонесущая способность печатных плат	388
16.1. Введение	388
16.2. Диаграммы выбора размера проводника (трассы)	388
16.3. Допустимая токовая нагрузка	390
16.4. Диаграммы	391
16.5. Диаграммы с базовой линией	400
16.6. Эффект неправильной геометрии и «швейцарского сыра»	411
16.7. Толщина меди	412
Литература	413
Глава 17. Проектирование тепловых характеристик печатных плат	414
17.1. Введение	414
17.2. Печатная плата как теплосток для припаянных компонентов	415
17.3. Оптимизация печатной платы по тепловым характеристикам	416
17.4. Кондуктивный теплоотвод на корпус	428
17.5. Требования к теплостокам	432
17.6. Моделирование тепловых характеристик печатной платы	433
Литература	437
Глава 18. Форматирование и обмен информацией	439
18.1. Введение в обмен данными	439
18.2. Процесс обмена данными	442
18.3. Форматы обмена данными	448
18.4. Движение к совершенству	464

18.5. Благодарности	465
Литература	465
Глава 19. Планирование проектирования, изготовления и монтажа	466
19.1. Введение	466
19.2. Общие соображения	468
19.3. Проектирование новой продукции	469
19.4. Планирование компромиссных топологий	475
19.5. Планирование компромиссов при изготовлении платы	483
19.6. Планирование компромиссов при сборке	491
Литература	494
Глава 20. Производственная информация, документация и ее передача, включая данные автоматизированной технологической обработки для изготовления и сборки	495
20.1. Введение	495
20.2. Производственная информация	496
20.3. Предварительный анализ проекта	502
20.4. Ввод задания на проектирование	513
20.5. Анализ и проверка конструкции	517
20.6. Процессы наладки САМ	518
20.7. Дополнительные процессы	535
20.8. Признательность	537
Глава 21. Встроенные компоненты	538
21.1. Введение	538
21.2. Определения и примеры	538
21.3. Использование и компромиссы	539
21.4. Проектирование встраиваемых компонентов	541
21.5. Материалы	544
21.6. Применяемые материалы	547
ЧАСТЬ 5. МЕЖСОЕДИНЕНИЯ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ	551
Глава 22. Введение в технологии межсоединений высокой плотности (HDI)	551
22.1. Введение	551
22.2. Определения	551
22.3. Структуры HDI	556
22.4. Проектирование	562
22.5. Диэлектрические материалы и методы нанесения покрытий	564
22.6. Технологические процессы изготовления HDI	581
Литература	593
Дополнительные библиографические ссылки	594
Глава 23. Современные технологии межсоединений высокой плотности (HDI)	595
23.1. Введение	595
23.2. Определения технологических факторов HDI	595

23.3. Процесс изготовления плат категории HDI	597
23.4. Технологические процессы HDI следующего поколения	630
Литература	635
ЧАСТЬ 6. ПРОИЗВОДСТВО	636
Глава 24. Процессы сверления	636
24.1. Введение	636
24.2. Материалы	637
24.3. Станки	645
24.4. Методы	651
24.5. Качество отверстия	656
24.6. Проверка после сверления	656
24.7. Затраты на сверление в расчете на одно отверстие	657
Глава 25. Прецизионное сверление межсоединений	661
25.1. Введение	661
25.2. Факторы, определяющие сверление HDI-плат	661
25.3. Лазер в сравнении с механическим способом	662
25.4. Факторы эффективности сверления HDI-плат	665
25.5. Методы сверления с контролем глубины	671
25.6. Сверление глубоких отверстий	672
25.7. Проверка внутренних слоев многослойных плат	676
Глава 26. Формирование изображения	683
26.1. Введение	683
26.2. Фоточувствительные материалы	684
26.3. Сухие пленочные фоторезисты	687
26.4. Жидкие фоторезисты	691
26.5. Электрофоретически осаждаемый фоторезист	692
26.6. Обработка фоторезиста	693
26.7. Проектирование для производства	716
Литература	719
Глава 27. Материалы и процессы многослойных плат	721
27.1. Введение	721
27.2. Материал для печатных плат	723
27.3. Типы многослойных конструкций	743
27.4. Обработка многослойных печатных плат (МПП) и соответствующие им технологические схемы	773
27.5. Процесс прессования	795
27.6. Управление процессом прессования и устранение неполадок	805
27.8. Выводы относительно МПП	810
Литература	811
Глава 28. Подготовка плат к металлизации	812
28.1. Введение	812
28.2. Технологические решения	812

28.3. Процессы водоподготовки	815
28.4. Подготовка отверстий к металлизации	817
28.5. Химическое меднение [5–10]	822
28.6. Благодарности	825
Литература	825
Глава 29. Гальванические покрытия	827
29.1. Введение	827
29.2. Основы гальванических покрытий	827
29.3. Отверстия с высоким характеристическим отношением и металлизация микропереходов	828
29.4. Горизонтальное гальванопокрытие	830
29.5. Общие вопросы медного гальванопокрытия	833
29.6. Кислые сернокислые электролиты меднения и их эксплуатация	843
29.7. Гальваническое осаждение припоя (олова-свинца)	850
29.8. Электролитическое осаждение олова	853
29.9. Электролитическое осаждение никеля	855
29.10. Электролитическое осаждение золота	858
29.11. Платиновые металлы	862
29.12. Электролитическое осаждение серебра	863
29.13. Лабораторный контроль процесса	863
29.14. Благодарности	866
Литература	866
Глава 30. Прямая металлизация	867
30.1. Технология прямой металлизации	867
Литература	879
Глава 31. Производство печатных плат на основе толстослойного химического меднения	880
31.1. Толстослойное химическое меднение	880
31.2. Аддитивный процесс и его варианты	881
31.3. Аддитивный процесс металлизации рисунка	881
31.4. Аддитивный процесс панельной металлизации	887
31.5. Частично аддитивный процесс	889
31.6. Химия химической металлизации	890
31.7. Проблемы толстослойного химического меднения	894
Литература	896
Глава 32. Финишные покрытия печатных плат	898
32.1. Введение	898
32.2. Альтернативные виды финишных покрытий	900
32.3. Облуживание с выравниванием горячим воздухом (HASL или HAL)	901
32.4. Химическое осаждение никеля и иммерсионное золочение (ENIG)	903
32.5. Органическое защитное покрытие (ОЗП)	906
32.6. Иммерсионное серебро	909

32.7. Иммерсионное олово	911
32.8. Другие виды финишных покрытий	912
32.9. Совместимость сборки	915
32.10. Методы испытания надежности	919
32.11. Специальные темы	920
32.12. Режимы отказов	922
32.13. Сравнение свойств финишных покрытий	926
Литература	927
Глава 33. Паяльная маска	928
33.1. Введение	928
33.2. Тенденции и проблемы, связанные с паяльной маской	929
33.3. Типы паяльной маски	931
33.4. Выбор паяльной маски	932
33.5. Нанесение и обработка паяльной маски	938
33.6. Защита переходных отверстий	951
33.7. Финальные свойства паяльной маски	953
33.8. Условные обозначения и маркировка (номенклатура)	953
Глава 34. Технологии и процессы травления	956
34.1. Введение	956
34.2. Основные положения и процедуры травления	957
34.3. Удаление резиста	960
34.4. Травильные растворы	962
34.5. Другие материалы, используемые в конструкции платы	980
34.6. Прочие металлы	981
34.7. Основы травления рисунка	982
34.8. Оборудование и методы	990
Литература	994
Глава 35. Механическая обработка по контуру	997
35.1. Введение	997
35.2. Пробивка отверстий	997
35.3. Вырубка и резка заготовок из фольгированных слоистых материалов	1000
35.4. Фрезерование	1003
35.5. Скрайбирование	1012
35.6. Благодарности	1015